

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003 年 8 月 28 日 (28.08.2003)

PCT

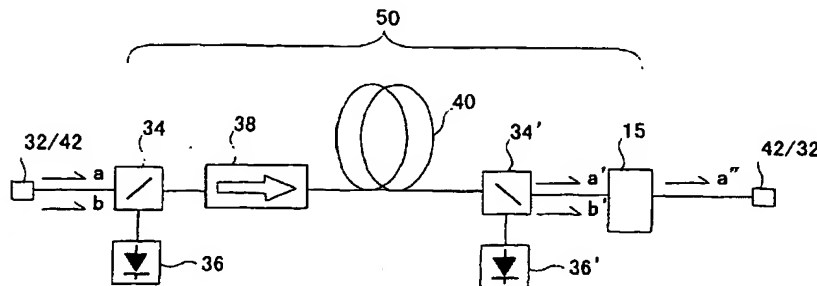
(10) 国際公開番号  
WO 03/071349 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G02F 1/35 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人産業技術総合研究所 (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒100-8921 東京都千代田区霞が関 1 丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP). 株式会社アルネアラボラトリ (ALNAIR LABORATORIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒332-0015 埼玉県川口市川口 6 丁目 3 番 1 4 号 Saitama (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/01755
- (22) 国際出願日: 2003 年 2 月 19 日 (19.02.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2002-048392 2002 年 2 月 25 日 (25.02.2002) JP
- (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 榎原 陽一 (SAKAKIBARA, Youichi) [JP/JP]; 〒305-8565 茨城県つくば市東 1 丁目 1 番 1 中央第 5 独立行政

[続葉有]

(54) Title: SIGNAL LIGHT NOISE REDUCTION APPARATUS AND SIGNAL LIGHT NOISE REDUCTION METHOD

(54) 発明の名称: 信号光の雑音低減装置及び信号光の雑音低減方法



(57) Abstract: An undesired ASE generated in optical communication is reduced so as to increase the transmission distance span. A carbon nano tube is used as a saturable absorber (15). The saturable absorber is inserted in the path of the signal light of, for example, bidirectional excitation type EDF (50) such as in the latter stage of the EDF (40), so as to serve as a noise reduction apparatus for cutting off or reducing an undesired ASE having a weak signal light intensity and transmitting a signal light having a strong light intensity.

The noise reduction apparatus can be used in the field of the optical communication using a carbon nano tube having the saturable absorption function.

(57) 要約:

光通信において不所望に発生するASEを低減し、伝送距離の長スパン化を図る。カーボンナノチューブを可飽和吸収体15として用いるとともに、当該可飽和吸収体を、信号光強度の弱い不所望なASE等の透過を遮断或いは低減させる一方で、光強度の強い信号光を透過させる機能を果たすような雑音低減装置として、例えば、双方向励起型EDFA50の信号光の通路中、より詳しくは、EDF40の後段に挿入させた構成とすることにより、可飽和吸収機能を有するカーボンナノチューブの光通信分野における利用をはかる。

WO 03/071349 A1



法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 徳本 圓 (TOKUMOTO, Madoka) [JP/JP]; 〒305-8568 茨城県つくば市梅園1丁目1番1 中央第2 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 阿知波 洋次 (ACHIBA, Yohji) [JP/JP]; 〒206-0025 東京都多摩市永山5丁目6番9号 Tokyo (JP). 片浦弘道 (KATAURA, Hiromichi) [JP/JP]; 〒192-0916 東京都八王子市みなみ野1丁目11番4号-506 Tokyo (JP). ジャボロンスキー, マーク ケンネス (JABLONSKI, Mark Kenneth) [US/JP]; 〒175-0083 東京都板橋区徳丸8丁目18番18号-208 Tokyo (JP). 田中 佑一 (TANAKA, Yuichi) [JP/JP]; 〒184-0013 東京都小金井市前原町3丁目20番18号 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 大垣 孝 (OHGAKI, Takashi); 〒170-0013 東京都豊島区東池袋1丁目35番3号 池袋センタービル4階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 信号光の雑音低減装置及び信号光の雑音低減方法

## 技術分野

この発明は、光通信において信号光の雑音を低減する装置（以下、雑音低減装置と称する。）に関する。

## 背景技術

近年、光通信技術の飛躍的な進歩とともに、信号光の伝送距離のより一層の長スパン化（長距離化）が望まれている。

伝送距離の長スパン化を図るに当たり、現在、信号光を光増幅させる複数の光増幅器で光ファイバ等の伝送媒体を中継して、信号光強度の伝送距離に伴う減衰を補償する方式が採用されている。

近年、光ファイバ増幅器のなかで、エルビウムの励起光による誘導放出現象を利用した、エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier 以下、EDFAと称する。）が注目されている。

光ファイバ増幅器は、伝送媒体との整合性が良好なため光伝送システムに適しているが、EDFAは、増幅波長域と石英系ファイバの極低損失波長帯域とが1500nm波長帯で整合して、高利得及び高効率を実現できるため、特に好適である。

しかしながら、EDFAをはじめとする光増幅器は、励起イオンの反転分布によって増幅信号光を発生する。この信号光の増幅過程において、ランダムに発生する自然放出光も増幅されるため、光増幅器からは増幅自然放出光(ASE: Amplified Spontaneous Emission 以下、ASEと称する場合がある。)、すなわち、雑音光（ノイズ又は雑音とも称する。）が発生する。

その結果、増幅信号光にランダムな位相を有するASEが付加されてしまい、信号光対雑音光比（S/N比）が著しく劣化してしまう。

ASEの混入によって、光増幅器から所定の信号光のみを精度良く出力できないうえに、ASEは、信号光と同様に光ファイバ等の伝搬中に光増幅を繰り返す。

そのため、この不所望に発生するASEは、伝送距離の長スパン化を図る上で大きな障害となっている。

#### 発明の開示

そこで、上述した問題点を技術的に解決する手法の出現が望まれていた。

そこで、この出願に係る発明者は、先ず、この雑音光の発生当初の光強度は、通常、信号光の光強度に比べて、かなり小さい点に着目して鋭意研究を行った。その結果、カーボンナノチューブの可飽和吸収体がある、光パワーの2乗で吸収が低減して透過率が激増する特性を利用すれば、信号光のみを増幅させるとともに雑音光の増幅を抑制させることができ、従って、信号光のみを伝搬させ、かつ、雑音光を遮断することが可能であることが判った。

そこで、この発明の信号光の雑音低減装置は、以下のような構成上の特徴を有する。

すなわち、この雑音低減装置は、カーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いて構成されている。そして、この雑音低減装置は、光通信における信号光の雑音を低減するために、信号光の通路中に設けられる。

このような構成にすれば、可飽和吸収体であるカーボンナノチューブが、光強度の弱いASE等の透過を遮断する一方で、光強度の強い信号光を透過するので、信号光の雑音を低減することができる。

また、好ましくは、カーボンナノチューブは、光学的な非線形性を有

しているのが良い。

また、好ましくは、可飽和吸収体は、光増幅器と組み合わせることにより、信号光とは逆進する光に対しては、光アイソレータとしての機能を有するのが良い。

信号光とは逆進する光として、例えば、信号光の反射光がある。反射光の光強度は信号光の光強度よりも弱い。従って、可飽和吸収体を、更に、信号光と反射光との光アイソレータとして機能させることができ、光通信のための機器構成を簡易にすることができる。

また、好ましくは、可飽和吸収体は、信号光に対する波形整形器としての機能を有するのが良い。

可飽和吸収体が信号光の強度分布のうち光強度の弱い部分を遮断させ、光強度の強い部分を透過させることができるので、可飽和吸収体を透過する信号光のパルス波形を、急峻な波形に整形することができる。

また、好ましくは、可飽和吸収体が可飽和吸収可能な波長域は、1200nm以上であってかつ2000nm以下であるのが良い。

このようにすると、例えば、現在利用されている石英系光ファイバを伝送媒体とする信号光の波長帯域と整合させることができる。

また、好ましくは、信号光は、光ファイバ増幅器から出射された信号光とするのが良い。

また、好ましくは、光ファイバ増幅器は、エルビウム添加光ファイバ増幅器であるのが良い。

このようにすると、エルビウム添加光ファイバ増幅器における石英系光ファイバの極低損失波長帯域と、可飽和吸収体の可飽和吸収可能な波長域とを整合させることができるので、実用上有用となる。

また、好ましくは、信号光は、半導体光増幅器から出射された信号光とするのが良い。

また、好ましくは、信号光は、半導体レーザから出射された信号光とするのが良い。

また、好ましくは、光路中に複数段の光ファイバ増幅器を接続して具える場合には、可飽和吸収体を、隣接する光ファイバ増幅器間毎に、中継器として設けるのが良い。

このようにすると、接続された光ファイバ増幅器の各々から出射される増幅光に対して可飽和吸収機能が果たされるので、増幅自然放出光の透過を効率良く遮断でき長スパン化に有効となる。

また、好ましくは、カーボンナノチューブは、単層カーボンナノチューブ及び多層カーボンナノチューブの双方またはいずれか一方とするのが良い。

上述した雑音低減装置は、好ましくは、透明基板、透明なプリズム、透明なレンズ、その他の好適な透明な光学材料で形成された光学部品の表面にカーボンナノチューブを設けて構成することができる。或いは、カーボンナノチューブを透明な光学材料間に挟んでも良いし、又は、透明な光学材料中に埋め込んでも良い。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、SWNT 薄膜の光吸収特性の説明に供する図、

図 2 は、図 1 で最も低いエネルギー領域に現れた吸収帯部分について、横軸を光波長に変換した図、

図 3 は、SWNT 薄膜の Z スキャン法の測定装置の説明に供する図、

図 4 は、SWNT 薄膜の Z スキャン法において、SWNT 薄膜が 40 mm 付近に位置したときの、各レーザ光強度における透過率の説明に供する図、

図 5 は、この発明の信号光の雑音低減装置を備える EDFA の説明に供する図、

図 6 (A) ~ (C) は、SWNT 薄膜による雑音光の低減効果の説明に供する図、

図 7 は、SWNT 薄膜による波形整形効果の説明に供する図、

図 8 (A) 及び (B) は、実施の形態の変形例の説明に供する図であり、

図 9 は、一般的な E D F A の構成の説明に供する図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図を参照して、この発明の実施の形態について説明する。尚、説明に用いる各図は、この発明を理解できる程度に各構成成分の寸法、形状及び配置関係などを概略的に示してあるに過ぎない。従って、この発明は、図示例のみに限定されるものではない。

< 1 > カーボンナノチューブの可飽和吸収機能の検証

(1-1) カーボンナノチューブの作製

この実施の形態では、炭素原子 (C) の六員環構造によって形成された 1 枚のグラフェン (graphen) がチューブ構造となっている、単層カーボンナノチューブ (SWNT: Single-Wall carbon NanoTube、以下、SWNT と称する。) を用いる。尚、カーボンナノチューブには、その他に、多層構造のグラフェンがチューブ構造となっている多層カーボンナノチューブ (MWNT: Multi-Wall carbon NanoTube、以下、MWNT と称する。) もあり、この発明を SWNT のみに限定するものではない。

SWNT の作製は、周知の通り、レーザ蒸発法やアーク放電法等の任意好適な方法を利用することができる。以下に、レーザ蒸発法による SWNT の作成方法の一例を簡単に述べる。

まず、遷移金属元素、例えば、コバルト (Co) 及びニッケル (Ni) を、それぞれ数原子% (例えば、各々 0.6 原子% とする。) 含有する (金属/炭素) コンポジット棒を作製する。

続いて、このコンポジット棒を電気炉中で約 1200℃ の温度で加熱した後、500 Torr の減圧下でアルゴン (Ar) ガスを 50 sccm で導入しながら、ネオジウム (Nd) ・ヤグ (YAG) パルスレーザ (10 Hz) 等で瞬時に炭素と触媒金属とを蒸発させて SWNT を作製

する。尚、こうして得られたSWNTには、副生成物である不純物が混入している場合があるので、水熱法、遠心分離法及び限外濾過法等のいずれかの任意好適な方法によって、SWNTを精製するのが好ましい。

#### (1-2) カーボンナノチューブ薄膜の作製

続いて、SWNTが成膜されている薄膜（以下、SWNT薄膜と称する。）を作製する。尚、SWNT薄膜の作製には、SWNTの直径が好ましくは0.5nm～2.0nmの範囲内であり、又、SWNTの長さが好ましくは500nm～1000nmの範囲内のものを使用するのが良い。SWNTの直径及び長さをこの範囲内にすれば、可飽和吸収機能を好適に発現させることができる。

そこで、以下の実施の形態では、平均直径が1.3nm程度、平均長さが1000nm程度のSWNTを用いる。

SWNT薄膜の作製には、SWNTを分散媒に分散させて得られた分散液を透明な光学材料、すなわち、ガラス基板等の透明性の被塗布物上にスプレー塗布してSWNT薄膜を作製する、スプレー法を採用する。以下に、スプレー法によるSWNT薄膜の作製方法の一例を簡単に述べる。尚、ガラス基板として、例えば、平行平板を用いる。

まず、(1-1)で説明した方法によって精製されたSWNTを、分散媒である、例えば、アルコール、ジクロロエタン及びジメチルフォルムアルデヒド等のうちの少なくとも1つに均一分散させ分散液を調製する。尚、分散液の調製は、必要に応じて界面活性剤等を添加しても構わない。尚、SWNTの分散濃度は、例えば、エタノールを分散媒とした場合は、1～2mg/ml程度が好適である。尚、分散濃度はこれに限られず、目的及び設計に応じて任意に変更できる。

続いて、調製した分散液を、ガラス基板上にスプレー塗布して乾燥させる。スプレー塗布するガラス基板が低温の場合には、塗布した分散液中のSWNTが凝集し良好な膜質にならないため、ガラス基板を加温しながらスプレー塗布する。



上述した過程を経ることにより、良質なSWNT薄膜を得ることができ、尚、SWNT薄膜の作製方法はこれに限定されず、電気泳動成膜法やポリマー分散法等を利用しても良い。

#### (1-3) カーボンナノチューブの吸収スペクトル測定

(1-2) で説明した方法によって作製されたSWNT薄膜の光吸収特性の評価を行った。

SWNT薄膜は、精製されたSWNT 1~2 [mg]を、分散媒として、例えば、エタノール 5 [ml]に分散させた分散液を、透明なガラス基板上にスプレー塗布して作製する。

こうして得られたSWNT薄膜の光吸収特性の測定結果を図1に示す。測定は、分光光度計U-4000（日立製作所社製）を用いて行った。この図の横軸はSWNT薄膜に照射した光のエネルギー[eV]を表し、縦軸は当該SWNT薄膜の吸光度[-]を表している。

図1に示すように、SWNT薄膜は、赤外領域に複数の吸収帯を有することがわかる。また、このSWNT薄膜は、0.8 [eV]付近に吸収端をもつことから半導体の性質を有するものと推察される。

次に、図1に示される最も低いエネルギー（ここでは、1 [eV]付近）に現れている吸収帯を抜き出し、横軸を光の波長[nm]に変換したものを図2に示す。

図2に示すように、図1における約1 [eV]付近の吸収帯は1200 nm~2000 nmの波長域に存在し、また、吸収ピーク波長は1780 nm付近であることが確認された。尚、SWNTの吸収ピーク波長は、この実施の形態の条件下では1780 nm付近であったが、SWNTの直径及び長さを調整することによって、吸収ピーク波長は微少量変化するものと推察される。

#### (1-4) カーボンナノチューブの可飽和吸収機能の測定

(1-2) で既に説明した方法で作製されたSWNT薄膜に照射光（レーザ光）を照射して、照射光強度とSWNT薄膜を透過する透過光

強度との関係をZ-スキャン法によって測定し、SWNT薄膜の可飽和吸収機能の評価を行った。

図3にZ-スキャン法の測定装置を概略的に示す。図3に示すように、測定装置10は、半導体レーザ等の光源12、UVカットフィルタ14、NDフィルタ16、焦点距離 $f$ が150mmのレンズ18及び受光器20が、光源12からの照射光の光軸（Z方向）に沿ってこの順序で配置されており、SWNT薄膜15はレンズ18と受光器20との間に配置されている。

そして、SWNT薄膜15を、レンズ18の焦点Fから受光器20側に40mm程度寄った位置を原点X（0：ゼロ）として、光軸（Z軸）の紙面左方向（光源12方向）に沿って移動させ、SWNT薄膜15に照射される照射光強度での透過率変化を測定した。

このとき、光源12は、再生増幅器付きチタンサファイアレーザに光パラメトリック増幅(OPA: Optical Parametric Amplifier)を備えており、SWNTの吸収ピーク波長である約1780nmのレーザ光を出力する。また、レーザ光のパルス幅を200fs、繰り返し周期を1kHzとし、光源12からのレーザ光強度を、 $10\mu\text{W}$ 、 $20\mu\text{W}$ 、 $30\mu\text{W}$ 、 $50\mu\text{W}$ 、 $100\mu\text{W}$ 及び $300\mu\text{W}$ の6種類として測定を行った。尚、SWNT薄膜15に照射される光量は、当該SWNT薄膜15が焦点Fに配置されたとき最も大きくなり、焦点Fから遠ざかるにつれて小さくなる。また、一例として、光源12からのレーザ光強度が $10\mu\text{W}$ である場合の、焦点Fでのレーザ光径は約0.05mmであり、焦点Fでのレーザ光強度は約637MWであった。

SWNT薄膜15を、原点X（0）から紙面左方向に40mm（-40mm）付近にまで移動させた位置、すなわち、SWNT薄膜15が焦点F近傍に位置したときの、光源12からの各レーザ光強度と透過率との関係を図4に示す。図4において、横軸にレーザ光強度（光パワー） $[\mu\text{W}]$ を対数表示し、縦軸に透過率 $[-]$ をプロットして示す。 $10\mu$

Wでは約  $3 \times 10^{-2}$  (3%)、 $20 \mu W$ では約  $9.5 \times 10^{-2}$  (9.5%)、 $30 \mu W$ では約  $16.5 \times 10^{-2}$  (16.5%)、 $50 \mu W$ では約  $32 \times 10^{-2}$  (32%)、 $100 \mu W$ では約  $55 \times 10^{-2}$  (55%) 及び  $300 \mu W$ では約  $80 \times 10^{-2}$  (80%) であった。

図4からも理解できるように、各レーザ光強度において、照射光強度による透過率の相違はあるものの、レンズ18の焦点F近傍である-40mm付近で透過率が増加する光学的非線形性が示されている。よって、SWNT薄膜は、赤外領域の吸収帯域の光（或いは信号光）に対して可飽和吸収機能を有することが確認された。

ところで、この実施の形態では、SWNT薄膜表面に好適なコーティング等が施されていないため、当該SWNT薄膜に照射されるレーザ光の拡散は不可避である。よって、この実施の形態において、この拡散によるレーザ光損失が約20%程度であることを考慮すれば、透過率が約  $80 \times 10^{-2}$  (80%) 程度では、照射光（レーザ光）をほぼ100%透過するものと考えられる。

#### < 2 > カーボンナノチューブの可飽和吸収機能を利用した構成例

そこで、先ず、可飽和吸収体であるカーボンナノチューブを、光通信での信号光の通路中に設け、信号光の雑音を低減させる雑音低減装置として利用する構成例につき説明する。

更に、雑音低減装置として用いる可飽和吸収体を、光増幅器と組み合わせることにより、信号光とは逆進する光に対する光アイソレータとして利用する。また信号光に対する波形整形器として利用する。

図5は、この発明の、信号光の雑音低減装置を備える光ファイバ増幅器である、EDFAについて説明するための概略構成図である。また、図9は、図5との構成の相違を説明するための従来一般的なEDFAの概略構成図である。尚、図5及び図9は双方向励起型EDFAであるがこれに限定されるものではなく、前方向励起型EDFA或いは後方向励起型EDFAであってもこの発明を適用して好適である。

また、この実施の形態では、光ファイバ増幅器としてEDFAを例に挙げて説明するがこれに限られるものではなく、例えば、ラマン増幅器等であってもこの発明を好適に実施することができる。

まず、図9を参照して、一般的なEDFAの構成の一例について説明する。

図9に示すように、一般的な双方向励起型EDFA30は、入力部32と出力部42との間に設けられており、光合分波器34、34'、励起光源36、36'、光アイソレータ38、38'及びエルビウム添加光ファイバ（以下、EDFと称する。）40を具えている。このとき、光アイソレータ38、38'は、主に、EDFA30と他のファイバとの接続端となる入力部32及び出力部42の端部で発生する、信号光とは逆進する反射光（雑音光）を抑制する、非相反回路として機能している。

双方向励起型EDFA30の動作の概略は、以下の通りである。

まず、入力部32から入射された信号光は、光合分波器34で励起光源36から出射される励起光と合波された後、光アイソレータ38を経てEDF40で増幅される。そして、増幅された光（増幅光）は、光合分波器34'及び光アイソレータ38'で残留励起光等の不要光が分波された後、所望の増幅信号光となって出力部42に出射される。

このような従来の双方向励起型EDFAについて、この発明の信号光の雑音低減装置を適用した一構成例を図5に示す。図5を参照して、この発明の実施の形態の一例を説明する。

図5に示すように、この実施の形態の雑音低減装置は、カーボンナノチューブによる可飽和吸収体で構成してある。尚、このときの可飽和吸収体15は、(1-3)の項で既に説明したような、透明なガラス基板上に塗布形成されたSWNT薄膜である。

この実施の形態では、ガラス基板上のSWNT薄膜を、所望の信号光に対して透過率が概ね80%以上となるような膜厚に形成するのが良い。

そうすることにより、所望の信号光の透過を妨げることなく、不所望な雑音光の透過だけを効果的に低減させることができる。尚、以下の説明では、雑音低減装置を、単に可飽和吸収体と称することもある。

この実施の形態では、この雑音低減装置を、双方向励起型EDFA50の信号光の通路中に挿入して設けてある。この構成例では、図9のEDF40の後段の光アイソレータ38'を、カーボンナノチューブの可飽和吸収体15で代替させた構成としてある。

但し、EDFAは、周知の通り、半導体レーザの励起光（励起波長：980nm又は1480nm）によるエルビウム（Er）の反転分布によって、シリカファイバの極低損失波長域の1500nm帯の信号光を光増幅する。そのため、SWNT薄膜が可飽和吸収を起こす波長域（概ね1200nm～2000nm）とEDFAの信号光波長帯（1500nm）との整合性をとることができる。

この実施の形態で、光アイソレータ38'と代替した可飽和吸収体15は、（1-4）で既に説明したように、光強度の弱い光（雑音光）を遮断する一方で、光強度の強い光（信号光）を透過する特性を有している。

それゆえ、この雑音光の光パワーと信号光の光パワーとの差を上手く利用すれば、カーボンナノチューブで構成された可飽和吸収体15にこれら光を通すことにより、雑音光の透過率を低下させる（実質的に雑音光を遮断させる）が、信号光をほぼ100%透過させることが可能であることがわかる。

よって、例えば、双方向励起型EDFA50で発生する当初の雑音光の光強度（光パワー）が10μW程度であり、これに比して当初の信号光の光強度（光パワー）が50μWとか、100μWとかそれ以上の大きなレベルの場合には、信号光強度による透過率の差に基づいて光通信システムを構築することにより所望の機能が果たされる。尚、これはあくまで一例であり、所望の設定に応じて任意好適に変更することができ

る。

続いて、図 6 (A) ~ (C) を参照して、信号光の雑音低減装置を備える E D F A による、信号光波形及び雑音光波形の変化につきより詳細に説明する。尚、図 6 (A) ~ (C) は、信号光波形及び雑音光波形の変化を概略的に説明する図であり、実際の波形変化を必ずしも示すものではない。また、この図の横軸は時間  $t$  (任意の単位) を表し、縦軸は信号光強度 (光パワー) (任意の単位) を表している。

図 5 に示す入力部 3 2 から、信号光  $a$  が、当該信号光  $a$  の伝搬に伴って発生した雑音光  $b$  と共に双方向励起型 E D F A 5 0 に入射される。このときの雑音光  $b$  の光強度は信号光  $a$  の光強度に比べて充分小さい (図 6 (A) 参照)。

そして、図 5 に示す双方向励起型 E D F A 5 0 の可飽和吸収体 1 5 の前段までにおいて、信号光  $a$  は光増幅されて信号光  $a'$  となる。また、信号光  $a$  の光増幅過程において、当初の雑音光  $b$  及びランダムに発生する自然放出光等も増幅され雑音光  $b'$  となる。このときの雑音光  $b'$  の光強度は、信号光  $a'$  の光強度に対して無視できない大きさとなる (図 6 (B) 参照)。

そして、信号光  $a'$  及び雑音光  $b'$  を、可飽和吸収体 1 5 を介して出力させることにより、光強度の大きな信号光  $a'$  はほぼ 1 0 0 % 透過されて信号光  $a''$  となる一方で、雑音光  $b'$  はその透過が低減或いは実質的に遮断されるといえる (図 6 (C) 参照)。尚、信号光  $a''$  の波形形状は、信号光  $a'$  の波形形状に比べて波形整形されている (詳細後述)。

また、この実施の形態において、S W N T の直径及び長さを調整して (特に、S W N T の直径の縮小化は有効である。)、S W N T の吸収ピーク波長を 1 7 8 0 n m 付近から 1 5 0 0 n m 付近にまで推移させることは、S W N T の可飽和吸収機能を顕著とするためにも望ましい。しかし、信号光波長と S W N T の吸収ピーク波長とを必ずしも一致させずとも、S W N T の吸収波長域内の信号光波長であれば、S W N T は実用上

使用可能である。

また、この実施の形態では、図 9 における光アイソレータ 38' を可飽和吸収体 15 で代替させた構成であるが、光アイソレータ 38 も可飽和吸収体 15 で代替させた構成、或いは、双方向励起型 E D F A 30 の後段に可飽和吸収体 15 を配置させた構成でも、同様の効果を期待できる。

更に、可飽和吸収体 15 は、信号光のみならず信号光とは逆進する、この信号光の反射光に対しても同様に可飽和吸収を行うことができる。よって、図 5 に示す可飽和吸収体 15 を、反射光の透過を遮断する光アイソレータとして利用することができるし、或いは、信号光の雑音低減と反射光の光アイソレートとを具える素子として利用することができる。従って、この発明の雑音低減装置は、信号光の伝搬通路に挿入して利用することにより、雑音劣化の少ない良好な光伝送の実現を図ることが可能となる。

更に、図 7 を参照して、可飽和吸収体 15 を波形整形器として利用する場合について説明する。この図の横軸は時間  $t$ （任意の単位）を表し、縦軸は信号光強度（光パワー）（任意の単位）を表している。

既に説明したように、光の強度分布のうち中心側の強度の大きい部分の光の透過率は高く、この分布の裾側の強度の小さい部分の光の透過率は低い。従って、図 7 に示すように、可飽和吸収体 15 に入射される前の信号光  $a'$ （図 6 における信号光  $a'$  に対応している。）は、可飽和吸収体 15 を介すことによって、当該信号光  $a'$  のうち光強度の弱い信号光の透過が遮断された信号光  $a''$  となる。

その結果、可飽和吸収体 15 を介して出力されるパルス信号光  $a''$  は、信号光  $a'$  の前後端がカットされた波形となる。よって、信号光  $a''$  のパルス幅  $Y$  は、信号光  $a'$  のパルス幅  $X$  よりも狭くなる。従って、図 5 に示す可飽和吸収体 15 を、パルス信号光に対して用いる場合には、パルス時間幅を短くかつ信号光を急峻な波形に、例えば、矩形形状のよう

に整形する、波形整形器として利用することとする。

また、可飽和吸収体 15 であるカーボンナノチューブを利用したこの発明の雑音低減装置は、光破壊及び機械的破壊に対する耐性或耐水性等を有する長寿命な光デバイスであることから、特に、光通信分野での幅広い活用が期待できる。

以上、この発明の実施の形態における条件等は、上述の組合せのみに限定されない。よって、任意好適な段階において好適な条件を組み合わせ、この発明を適用することができる。

例えば、この発明の雑音低減装置の可飽和吸収機能は、光増幅器からの信号光に限られず任意好適な発生源からの（信号）光に対して適用することができる。例えば、上述した実施の形態では、可飽和吸収体を用いた雑音低減装置を光通信分野に適用した場合について説明したが、半導体デバイス分野にも適宜適用して好適である。

つまり、図 8（A）に示すように、半導体デバイス、例えば、光増幅媒体として半導体を用い、レーザから共振器を取り除いた構成である半導体光増幅器 60 から出射される光の光路にこの発明の雑音低減装置を挿入して、この出射光に対し可飽和吸収を行うことにより、当該半導体光増幅器 60 から不所望に発生して製品の信頼性低下を招くノイズを、低減または排除することができる。また、半導体レーザ 62 についても、この出射光の光路にこの発明の雑音低減装置を挿入すれば、上述したノイズの低減または排除等の効果が期待できる。

また、図 8（B）に示すように、信号光の通路中に複数の光ファイバ増幅器（ここでは、例として、図 5 に示す双方向励起型 EDFA 50 とする。）を、例えば、3 つ接続して具える場合は、可飽和吸収体 15 であるカーボンナノチューブを、隣接する光ファイバ増幅器毎に、中継器として設ける構成としても良い。この場合には、接続された光ファイバ増幅器 50 から出射される増幅光の各々に対して可飽和吸収がなされるので、不所望な ASE をより効率良く遮断（低減）することができる。



尚、光ファイバ増幅器の接続数は上述した3つに限定されない。例えば、実際には、光ファイバ約80km毎に1つの光ファイバ増幅器を設け、信号光の減衰を補償しながら伝送距離の長スパン化を図っている。このとき、信号光の増幅と共に雑音光も増幅を繰り返すため、雑音光の影響が無視できない程度にまで大きくなり、その結果、信号光の正確な伝搬を妨げる。

そこで、上述したように、光ファイバの接続と共にこの発明の雑音低減装置、すなわち、可飽和吸収体であるカーボンナノチューブを設け、雑音光レベルを、各カーボンナノチューブ毎に、例えば、10%程度ずつ低減させる構成とするだけでも、例えば、10000km地点での雑音光の影響を極めて効果的に低減でき、S/N比の低下を抑制する働きがある。

尚、ガラス基板は、平行平板に何ら限定されず、用途又は設計に応じて任意好適な形状のガラス基板とすることができる。また、透明な光学材料として、ガラス基板以外のプラスチック等であっても良い。

#### 産業上の利用可能性

上述した説明から明らかなように、この発明によれば、カーボンナノチューブが備える可飽和吸収機能を、信号光強度の弱いASE等の透過を遮断する一方で光強度の強い信号光を透過する、信号光の雑音低減装置として光通信分野で利用することができる。その結果、ASE等の低減を図ることができるので、伝送距離の一層の長スパン化が可能となる。

## 請 求 の 範 囲

1. 光通信における信号光の雑音を低減するために、該信号光の通路中に設けられ、かつ、カーボンナノチューブを可飽和吸収体として用いて構成されていることを特徴とする信号光の雑音低減装置。
2. 請求項1に記載の信号光の雑音低減装置において、前記カーボンナノチューブは、光学的な非線形性を有していることを特徴とする信号光の雑音低減装置。
3. 請求項1または2に記載の信号光の雑音低減装置において、前記可飽和吸収体は、光増幅器と組み合わせることにより、前記信号光とは逆進する光に対しては、光アイソレータとしての機能を有することを特徴とする信号光の雑音低減装置。
4. 請求項1ないし3のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記可飽和吸収体は、前記信号光に対する波形整形器としての機能を有することを特徴とする信号光の雑音低減装置。
5. 請求項1ないし4のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記可飽和吸収体の可飽和吸収可能な波長域は、1200nm以上であってかつ2000nm以下とすることを特徴とする信号光の雑音低減装置。
6. 請求項1ないし5のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記信号光は、光ファイバ増幅器から出射された信号光とすることを特徴とする信号光の雑音低減装置。
7. 請求項6に記載の信号光の雑音低減装置において、前記光ファイバ増幅器は、エルビウム添加光ファイバ増幅器であることを特徴とする信号光の雑音低減装置。
8. 請求項1ないし5のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記信号光は、半導体光増幅器から出射された信号光とすることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

9. 請求項 1 ないし 5 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記信号光は、半導体レーザから出射された信号光とすることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

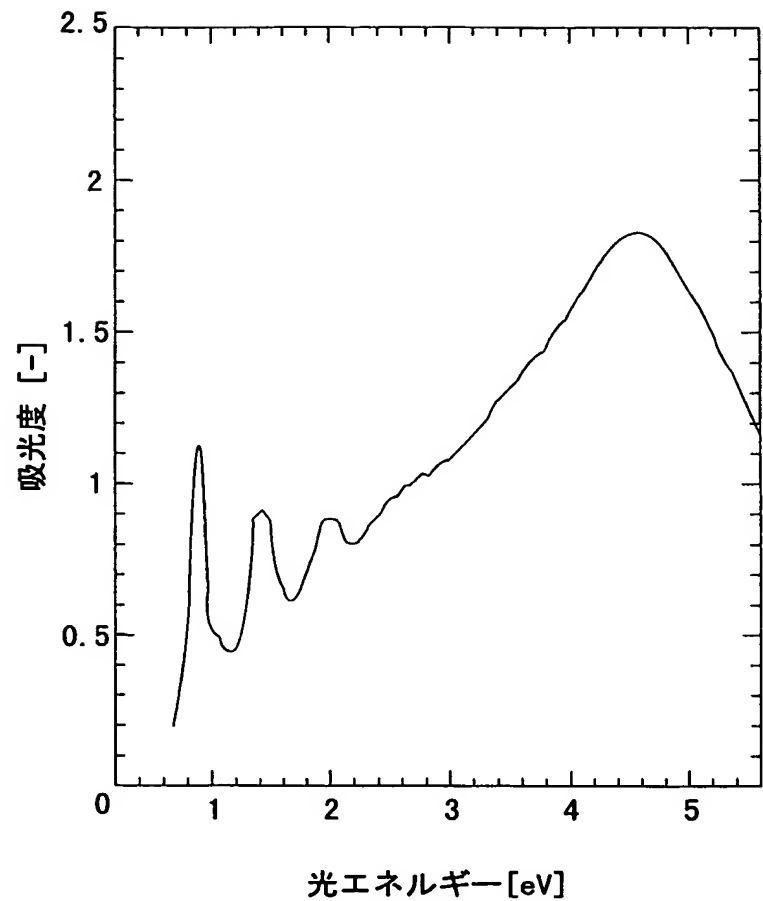
10. 請求項 1 ないし 7 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記通路中に複数段の前記光ファイバ増幅器を接続して具える場合には、前記可飽和吸収体を、隣接する前記光ファイバ増幅器間毎に、中継器として設けていることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

11. 請求項 1 ないし 10 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記カーボンナノチューブは、単層カーボンナノチューブ及び多層カーボンナノチューブの双方またはいずれか一方であることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

12. 請求項 1 ないし 11 のいずれか一項に記載の信号光の雑音低減装置において、前記可飽和吸収体は、透明な光学部品に設けられていることを特徴とする信号光の雑音低減装置。

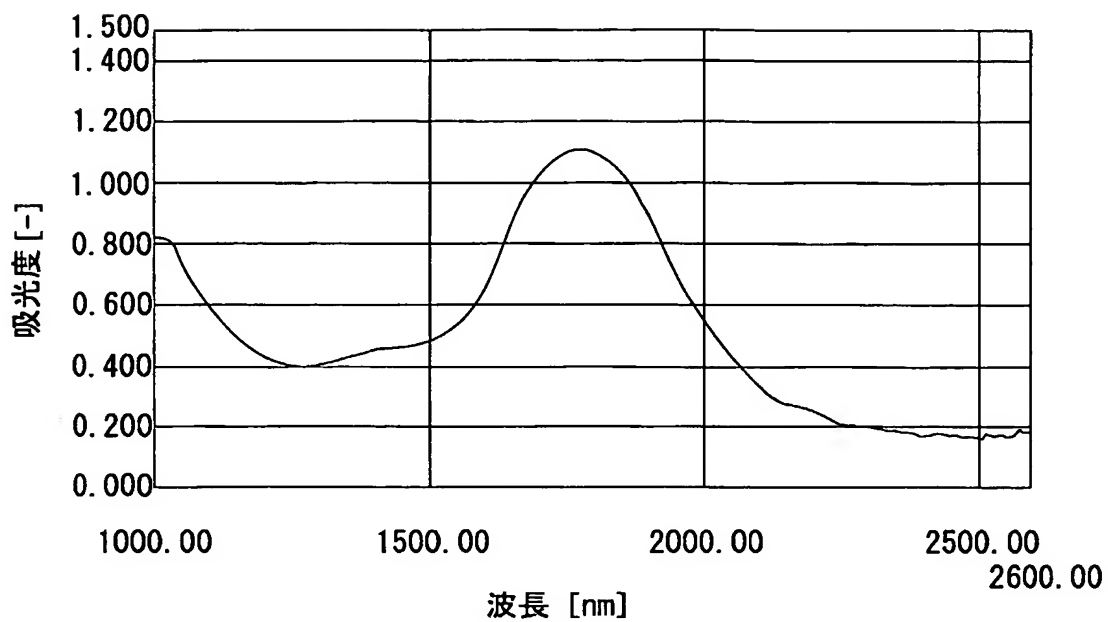
13. 光通信における信号光の通路中に、カーボンナノチューブを可飽和吸収体として配置して、該可飽和吸収体によって信号光の雑音を低減することを特徴とする信号光の雑音低減方法。

【図 1】

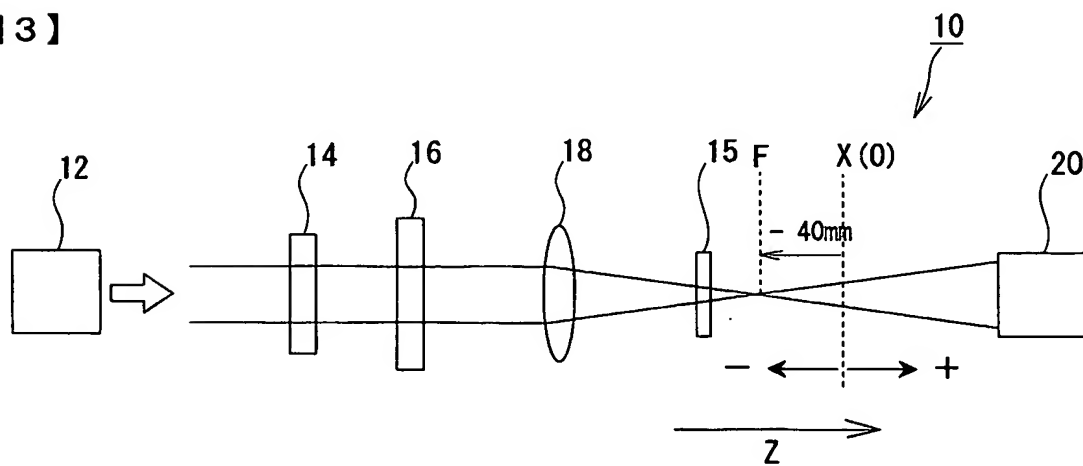


2/6

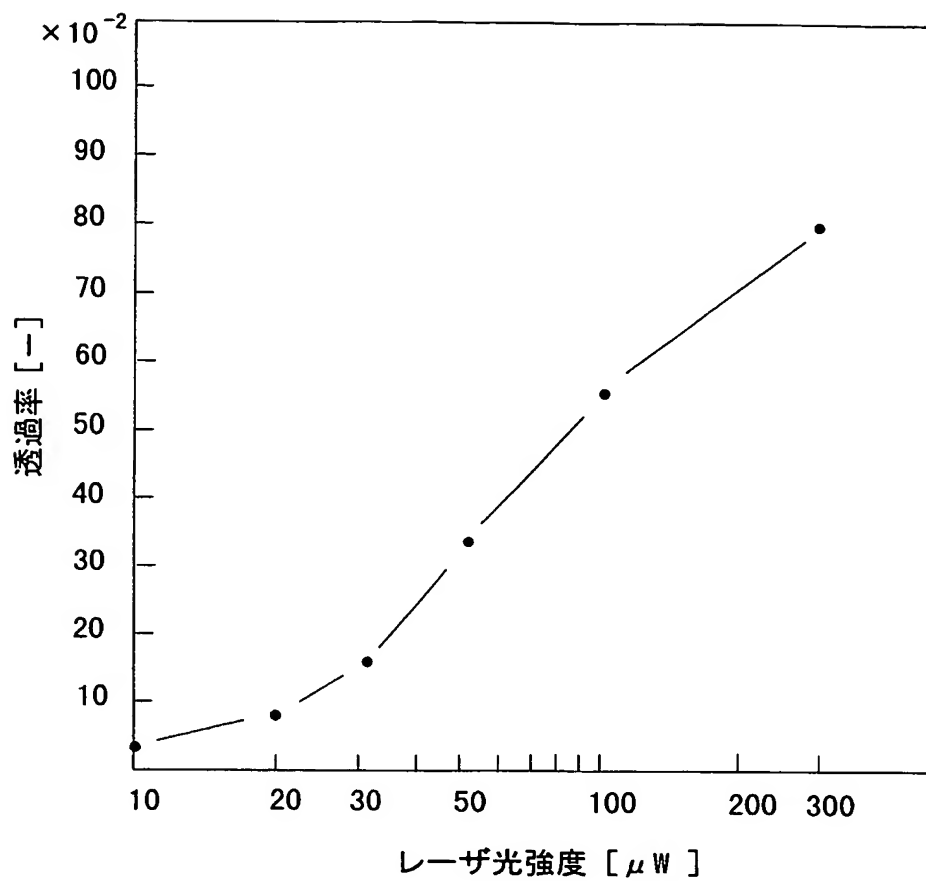
【図 2】



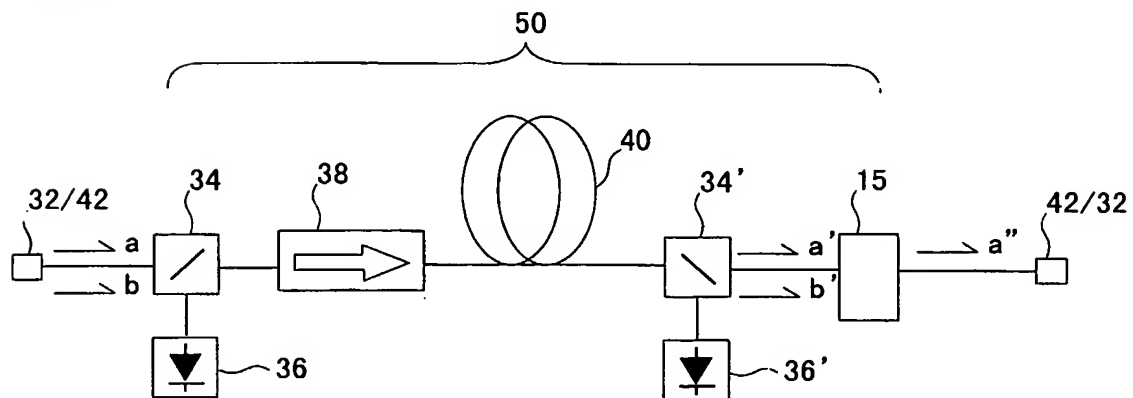
【図 3】



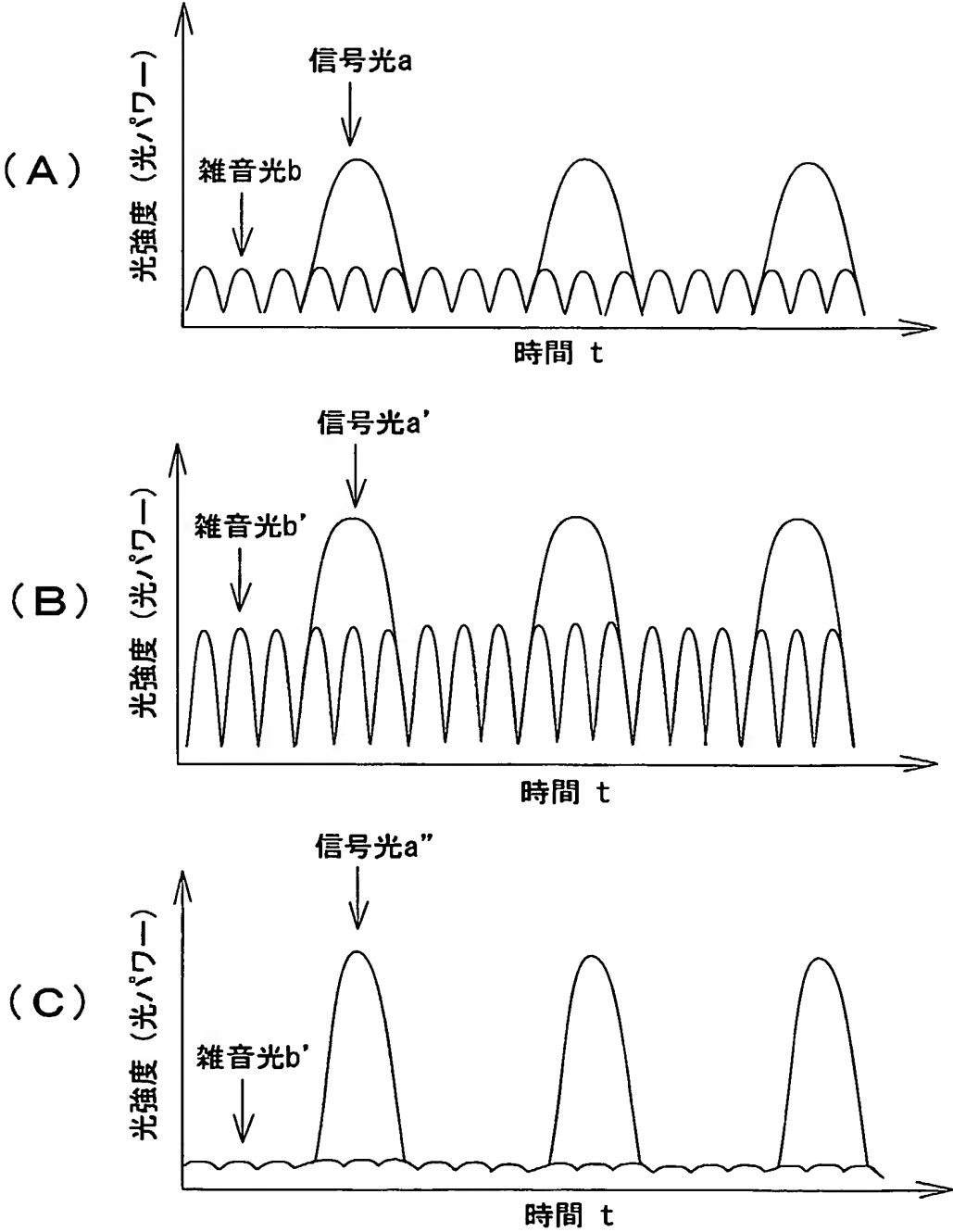
【図 4】



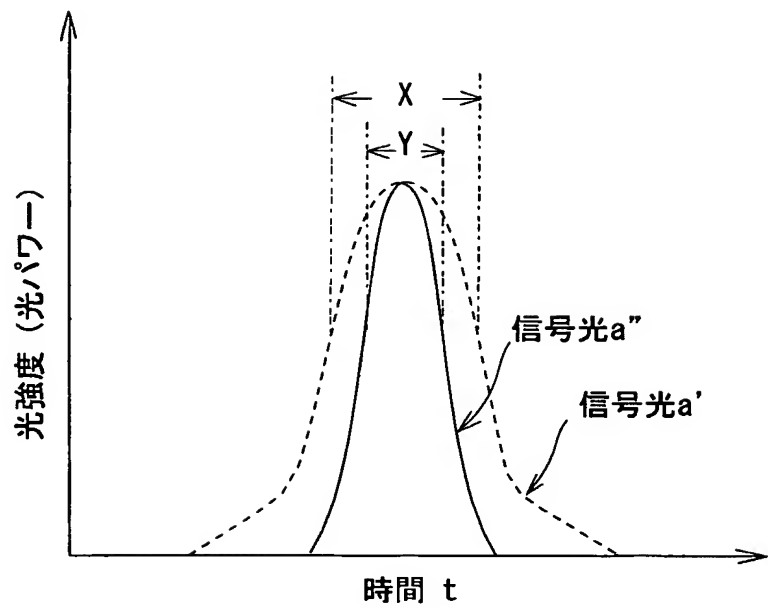
【図 5】



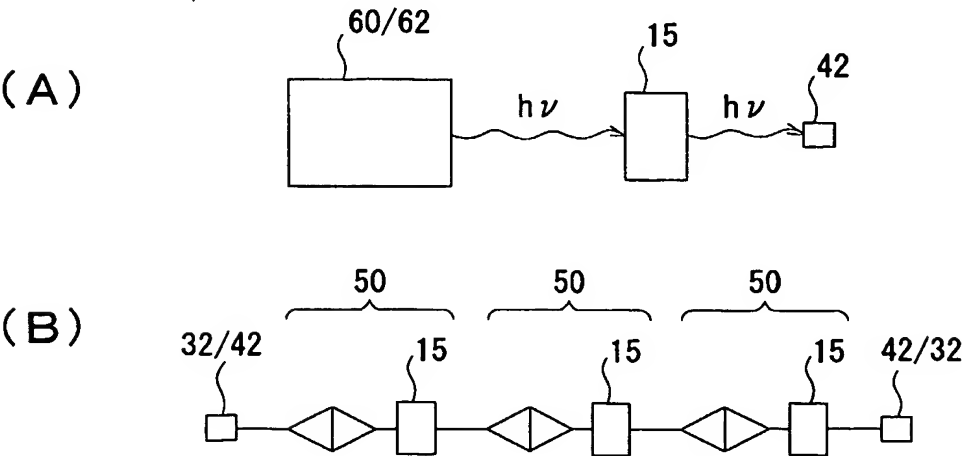
【図 6】



【図 7】

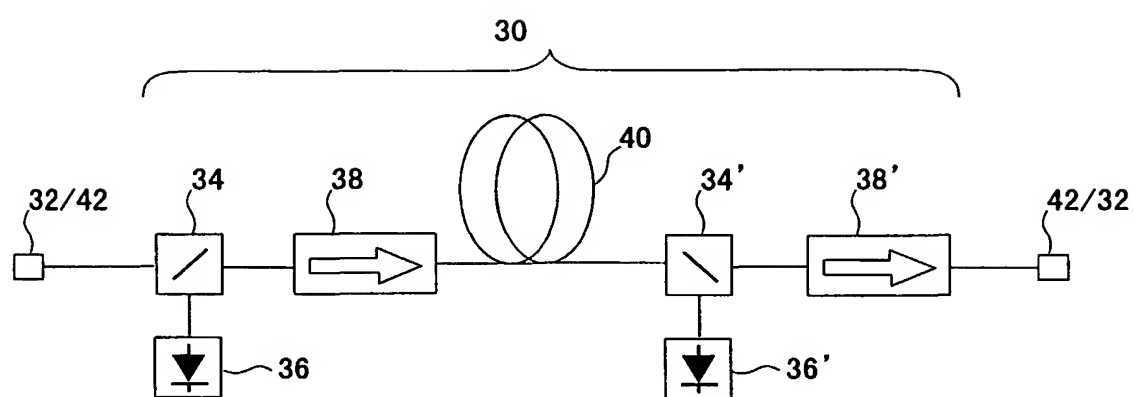


【図 8】





【図 9】



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP03/01755

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/35

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/01, G02F1/35, H04B10/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
JICST, USPTO Web Patent Database

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, Y	Chen, Y.-C. et al., Ultrafast optical switching properties of single-wall carbon nanotube polymer composites at 1.55µm, Applied Physics Letters, Vol.81, No.6, August 2002, pages 975 to 977	1-13
P, A	US 2002/0176650 A (RATNER AND PRESTIA), 28 November, 2002 (28.11.02), (Family: none)	1-13
A	Zujin Shi et al., Single-wall carbon nanotube colloids in polar solvents, Chemical Communications, No.6, March 2000, pages 461 to 462	1-13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
14 March, 2003 (14.03.03)

Date of mailing of the international search report  
01 April, 2003 (01.04.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

International application No.

PC1/JP03/01755

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Margulis, Vl.A., Gaiduk, E.A., Theoretical modell -ing of nonlinear refraction and two-photon absorp -tion in single-wall carbon nanotube bundles, Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, Vol.3, No.4, July 2001, pages 267 to 275	1-13
A	JP 11-261487 A (NEC Corp.), 24 September, 1999 (24.09.99), (Family: none)	1-13

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G 0 2 F 1 / 3 5

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G 0 2 F 1 / 0 1 G 0 2 F 1 / 3 5 H 0 4 B 1 0 / 0 0

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST  
 USPTO Web Patent Database

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PY	Chen, Y.-C. et al. Ultrafast optical switching properties of single-wall carbon nanotube polymer composites at 1.55 $\mu$ m, Applied Physics Letters, Vol. 81, No. 6, August 2002, p. 975-977	1-13
PA	US 2002/0176650 A(RATNER AND PRESTIA)2002. 11. 28 (ファミリーなし)	1-13
A	Zujin Shi et al. Single-wall carbon nanotube colloids in polar solvents, Chemical Communications, No. 6, March 2000, p. 461-462	1-13

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14. 03. 03

国際調査報告の発送日

01.04.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 宙子

2 X

9 3 1 6

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

## C (続き). 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	Margulis, Vl. A. Gaiduk, E. A. Theoretical modelling of nonlinear refraction and two-photon absorption in single-wall carbon nanotube bundles, Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, Vol. 3, No. 4, July 2001, p. 267-275	1-13
A	JP 11-261487 A(日本電気株式会社)1999. 09. 24 (ファミリーなし)	1-13